

Enseñanza del pH en tratamientos de agua lluvia y residual mediante educación experiencial

Teaching pH in rainwater and wastewater treatment through experiential education

Karen Juliana Pulido Gaviria¹

Sonia Torres Garzón²

Dora M. Amado Cely³

Cómo citar este artículo:

Pulido Gaviria, K. J., Torres Garzón, S., Amado Cely, D. M. (2023). Enseñanza del pH en tratamientos de agua lluvia y residual mediante educación experiencial. *Boletín P.P.D.Q*, (68), xx.

1 Profesora en formación Universidad Pedagógica Nacional. Departamento de Química. Universidad Pedagógica Nacional. kjpulidog@upn.edu.co

2 Asesora de práctica. Departamento de Química. Universidad Pedagógica Nacional. storres@pedagogica.edu.co

3 Docente titular. Colegio Luis Carlos Galán Sarmiento. damado@educacionbogota.edu.co

Resumen

Este trabajo tiene como finalidad conocer la incidencia de la aplicación de una secuencia didáctica enfocada en la enseñanza del concepto de pH, con base en tratamientos químicos de neutralización y desinfección de agua lluvia y residual, vista desde la educación experiencial, aplicada a los estudiantes de grado décimo del colegio distrital Luis Carlos Galán Sarmiento ubicado en la localidad de Puente Aranda en Bogotá D.C. La metodología de trabajo se encaminó en una investigación mixta dividida en tres etapas, las actividades de apertura, de desarrollo práctico y de cierre. Los resultados obtenidos culminada la aplicación de la secuencia didáctica se muestran positivos en la apropiación del concepto de pH junto con características propias de este; el avance en el nivel de manejo de instrumentos en el laboratorio; la capacidad de argumentación, análisis; y el reconocimiento de características del agua junto con el uso y cuidado racional de esta.

Palabras Clave

agua; educación experiencial; pH; secuencia didáctica; tratamientos

Abstract

This work aims to understand the impact of applying a didactic sequence focused on the teaching the concept of pH, based on chemical treatments for the neutralization and disinfection of rain and wastewater, viewed from the perspective of experiential education, applied to tenth-grade students at Luis Carlos Galán Sarmiento District School located in Puente Aranda, Bogotá D.C. The methodology was directed towards a mixed research approach divided into three stages: opening activities, practical development, and closing activities. The results obtained upon completion of the didactic sequence application show positive outcomes in the appropriation of the pH concept along with its intrinsic characteristics; the advancement in the level of handling laboratory instruments; the ability for argumentation, analysis, and the recognition of water characteristics along with its rational use and care.

Keywords

water; experiential education; ph; didactic sequence; treatments

Introducción

El concepto de pH se utiliza de manera tradicional para interpretar e identificar el grado de acidez o basicidad que posee cualquier sustancia química que se encuentra en solución acuosa, actualmente también se define como la actividad de los iones H^+ en una solución.

La medida de pH se utiliza para comprender una infinidad de procesos químicos como de óxido reducción, actividad enzimática, estructura de las proteínas e incluso mecanismos de reacción (Ocampo, 2018); además, se encuentran diversas aplicaciones como en el estudio de ecosistemas, la agricultura, las industrias de alimentos, textil, cosmética y farmacéutica, y el tratamiento de aguas.

Sin embargo, la enseñanza de este concepto se ha presentado en las instituciones de educación media como una simple expresión logarítmica inhibiendo la posibilidad de que los estudiantes adquieran una concepción precisa de este y convirtiéndolo a su vez en un concepto de laboratorio que no está aplicado a ninguna de las partes del contexto más próximo a ellos.

A pesar de que sí existen infinidad de aplicaciones del concepto de pH, de su

cuantificación y cualificación en la vida cotidiana, generalmente la explicación queda en el uso de indicadores caseros para cualificar el grado de acidez de sustancias de cocina.

Por ejemplo, se puede utilizar el concepto de pH en la determinación del grado de acidez de muestras de agua, agua lluvia y residual, con el fin de reconocer la razón de su uso inadecuado para ciertas actividades e investigar si es posible modificar este valor a través de métodos físicos o químicos.

Desde esta perspectiva, esta investigación tiene por objetivo diseñar una secuencia didáctica para los estudiantes de grado décimo en el colegio Luis Carlos Galán Sarmiento IED, en Bogotá, basada en la contextualización del concepto de pH teniendo en cuenta algunos tratamientos de neutralización y desinfección de agua lluvia y aguas residuales con la finalidad de potencializar el aprendizaje basado en la experiencia y la concientización del uso racional del agua.

Con esto, se busca responder:

¿Cómo incide en los estudiantes, para la apropiación del concepto de pH, la aplicación de una secuencia didáctica en términos de tratamientos químicos y físicos de aguas lluvias y residuales con base en la educación experiencial?

Referentes conceptuales

Referentes disciplinares

Agua potable

Según la legislación colombiana, se define el agua potable como bien nacional para uso público, el cual es un recurso indispensable para la vida y el desarrollo económico del país, donde todas las personas tendrán derecho al acceso al agua potable. Se garantiza por persona un suministro de 50 litros aproximadamente de agua potable al día, el pH de esta agua está en un rango de 6.5 y 9.0.

Concepto y escala pH

El pH es una propiedad química que se utiliza para medir la acidez o la alcalinidad de una sustancia o solución (Vásquez y Rojas, 2016). De igual modo, el pH se mide en una escala entre 0 a 14, donde el valor 7 es neutro (p. ej. Agua), de 0 a 7 se encuentra sustancias/diluciones ácidas y de 7 a 14 sustancias o soluciones básicas.

Métodos para determinación de pH

Existe diferentes métodos para determinar el pH de una sustancia o disolución, a continuación, se mencionan algunos de ellos:

Volumetría: se define como una técnica analítica, la cual permite calcular la concentración de ácido (H^+) o base (OH^-) disueltos,

“conociendo el volumen de una disolución patrón de una base o una ácido conocidos, necesarios para su neutralización” (Afonso, 2016). Para esta técnica es necesario utilizar un indicador para saber cuándo finaliza la reacción, estos indicadores tienen un color establecido por un pH determinado.

Experimento de la col morada: este tipo de experimento se hace en las instituciones educativas, ya que la col morada presenta un pigmento indicador conocido como flavina, en donde se puede determinar con facilidad el pH de una solución mediante la utilización de este.

pH-metro: es un instrumento que permite medir la actividad del ion hidrógeno (protón) en una solución acuosa, la cual indica el grado de acidez o alcalinidad en que se encuentra dicha solución, expresada en la escala de pH. De igual modo, este instrumento determina la diferencia de potencial eléctrico entre el electrodo de pH y electrodo de referencia.

Agua Lluvia

El agua lluvia se caracteriza por tener un pH ácido entre 4,4 y 5,7, esto es debido a la interacción que tiene con el dióxido de carbono en el aire. De igual forma, se dice que el agua lluvia está contaminada por ácido sulfúrico y/o ácido nítrico. No es aconsejable consumir agua lluvia por los contaminantes que pueda tener. Esta puede ser manipulable, es decir, se puede

almacenar y utilizar para épocas de sequía. También puede ser medible, para saber qué tipo de contaminantes puede traer.

Aguas residuales

Las aguas residuales domésticas son las que se producen en las viviendas, donde se componen de aguas de lavado, limpieza y fecales. “Los contaminantes más comunes que se encuentran en ellas son gérmenes patógenos, detergentes, sólidos, fósforo y nitrógeno, etc.” (Laboratorio Icontec, 2021). Estas aguas, varían en un pH entre 3,5 y 7.

Tratamiento de aguas lluvias y/o residuales

Para el tratamiento de aguas contaminadas se pueden implementar los siguientes métodos:

Tratamiento con cloro y yodo: estos son dos no metales que se utilizan para el tratamiento de aguas, ya que son efectivos para tratar y proteger el agua de exposiciones de *Giardia*, por ejemplo. Sin embargo, no son tan eficientes controlando organismos más resistentes como el *Cryptosporidium*. Para una mayor eficiencia del yodo o cloro, se recomienda trabajar con agua tibia.

Tratamiento con alumbre de piedra: se utiliza, ya que es muy económico y sirve para generar flóculos de sólidos suspendidos, lo que facilita la separación de sedimentos que se encuentran en el agua.

Tratamiento con carbón activado: este se utiliza especialmente para eliminar contaminantes de materiales orgánicos, también se usa para eliminar malos olores o para que el agua sea potable y de consumo.

Referentes pedagógicos y didácticos

Secuencia didáctica

Según el MEN (2016), una secuencia didáctica de ciencias naturales es la guía del docente que se centra en el estudiante como generador activo de su conocimiento. Para ello, estas secuencias deben contar con una pregunta central, la cual debe generar en los estudiantes interés, centrar la temática, promover la indagación, etc. De esta pregunta se desprenden siete preguntas orientadoras, una para cada semana, buscando la construcción de saberes de los estudiantes. De esta manera, “en cada sesión los estudiantes tendrán momentos de exploración, formulación de preguntas, diseño y puesta en práctica de actividades experimentales, búsqueda de información, análisis de las experiencias, conceptualización, aplicación y puesta en común del proceso en diferentes momentos” (p. 9).

Díaz (2013) menciona que una secuencia didáctica está constituida por actividades de aprendizaje que se le va a realizar a los estudiantes y con la finalidad de desarrollar un aprendizaje significativo. De igual modo, esta herramienta

“demanda el conocimiento de la asignatura, la comprensión del programa de estudio y la experiencia y visión pedagógica del docente, así como sus posibilidades de concebir actividades ‘para’ el aprendizaje de los alumnos” (p.1).

Educación experiencial

La educación o aprendizaje experiencial está estructurado en “ciclos” que dan respuesta a diversos modelos, los cuales permiten entender cómo funciona el proceso de aprendizaje. En este sentido, estos ciclos consideran la experiencia de carácter subjetivo de cada alumno y se basan “en la propuesta de una serie interactiva de diversas fases que favorecen el proceso de aprendizaje” (Equipo de Expertos en Educación, 2015). En esta medida, este aprendizaje cuenta con las siguientes ventajas:

- Permite abrir un espacio de crecimiento personal (constate toma de conciencia desde la reflexión).
- Ayuda a transformar las actitudes y conductas de los estudiantes.
- Construcción de conocimiento individual y grupal.
- Educación en contexto (experiencia vivencial y reflexiva).

Antecedentes

Para la estructuración conceptual de este proyecto se emplearon bases de datos especializadas las cuales permitieron una búsqueda avanzada sobre cuál contenía las ideas principales para el desarrollo del proyecto. A continuación, se presentan algunas de las investigaciones a nivel nacional e internacional consultadas y cuyos aportes fueron esenciales para el desarrollo de este trabajo.

Tabla 1. Antecedentes

Título	Descripción
Tratamientos avanzados para la potabilización de aguas residuales. (Ortega y Sánchez, 2021).	Esta investigación tuvo como objetivo identificar avances relevantes en los procesos de potabilización de aguas residuales utilizando una metodología de revisión bibliográfica para su desarrollo, la cual permitió reconocer y clasificar los tratamientos en tres grupos. Intercambio iónico, oxidación avanzada y membranas; especializados en remoción de iones, contaminantes patógenos y sólidos, respectivamente. La conclusión obtenida determinó como método más eficiente la oxidación avanzada, ya que las demás necesitan de otros tratamientos posteriores.

<p>Enseñanza-aprendizaje del concepto de acidez y pH en grado décimo, bajo la metodología de la ingeniería Didáctica. (Ocampo, 2018).</p>	<p>En este trabajo se diseñó una estrategia didáctica bajo el enfoque STEM relacionado con el aprendizaje basado en problemas el cual contenía actividades demostrativas, simuladas y prácticas que buscaban la construcción y contextualización del concepto de pH y acidez desde un punto de vista fisicoquímico aplicado para estudiantes de grado 10 en un colegio de Bogotá. Los resultados obtenidos demostraron que esta metodología contribuyó a la motivación de los estudiantes en la adquisición de conocimiento, participación y compromiso; además, hubo un aprendizaje concertado del concepto de pH visto desde una perspectiva cotidiana.</p>
<p>Experiencias sorprendentes de química con indicadores de pH caseros. (Heredia-Avalos, 2006).</p>	<p>En este artículo se describen procesos para la obtención de algunos indicadores de pH caseros realizados con vegetales y medicamentos; con esto se propone procedimientos que permitan diseñar experimentos con los indicadores para analizar y enseñar reacciones ácido-base a estudiantes de secundaria. Las conclusiones desarrolladas en esta investigación revelan que el experimento es clave para potenciar actitudes positivas de los estudiantes hacia la ciencia ya que les permite, observar, comprender y analizar los fenómenos de su entorno desde las metodologías caseras y didácticas.</p>

Fuente: elaboración propia.

Aspectos metodológicos

Esta investigación adoptó un enfoque mixto ya que este utiliza elementos tanto del paradigma cualitativo, como el paradigma cuantitativo, acogiendo algunas herramientas para la recolección de datos y los análisis de estos.

De acuerdo con Monje (2011), una investigación cuantitativa busca que los elementos que hacen parte del problema de investigación se encuentren de manera lineal y permita utilizar el razonamiento hipotético deductivo para tu estudio. Por otra parte, el abordaje de los datos cuantitativos se expresa a través de la estadística donde se asignan valores numéricos y se realizan inferencias.

Por otra parte, el enfoque cualitativo se encarga del análisis de las cualidades de los fenómenos estudiados de manera inductiva. Este paradigma hace énfasis en la validez de las investigaciones a través de la aproximación a una realidad empírica; la investigación es flexible, evolucionaria y recursiva, no depende del análisis estadístico, además, parte de la observación e identificación de un área problemática y puede adoptar una amplia gama de métodos para el manejo de materiales.

Desde esta perspectiva, esta investigación se desarrolló en tres fases: actividades de apertura, de desarrollo y de cierre, la cuales serán descritas en la figura 1.



Figura 1. Metodología de investigación

Fuente: elaboración propia.

Resultados y análisis

Los resultados de esta investigación se clasifican de acuerdo con cada una de las fases de la metodología y de acuerdo con unas categorías asignadas que permiten sintetizar la información.

Actividad de apertura

La actividad de apertura se basó en la aplicación de una prueba diagnóstica que combinaba opción múltiple, pregunta abierta y clasificación, constaba de un total de nueve preguntas las cuales permitirán referenciar los conocimientos disciplinares que poseían los estudiantes respecto al concepto de pH, aguas lluvias o residuales y el tratamiento de estas. A continuación, se presenta la figura 1, dónde son apreciables los porcentajes de

contenido conocido y desconocido por parte de un grupo de 81 estudiantes.

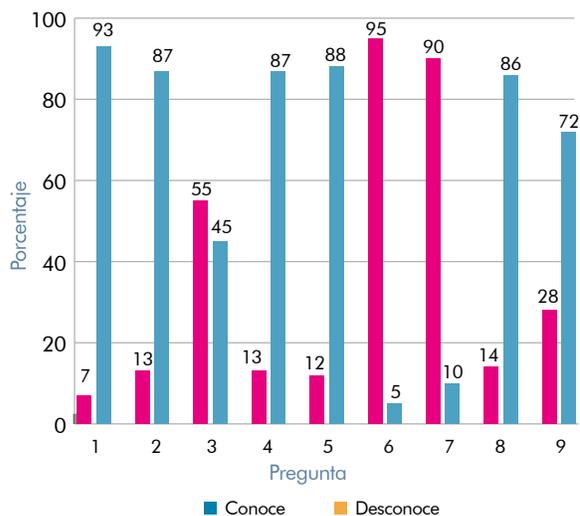


Figura 2. Resultados prueba diagnóstica

Fuente: elaboración propia.

En lo que concierne al concepto del pH en la primera pregunta, se evidenció que

solamente un 7% acertó en la definición y escalonamiento del pH respecto a su nivel de acidez, concentración y actividad de H^+ , esto considerando que, para la mayoría, aunque hubiera en algún momento escuchado el termino, no había claridad en la definición de este.

De la misma manera, en la segunda pregunta, solamente el 13% de la población indicó reconocer algunos métodos caseros e industriales útiles en la cuantificación de pH de diferentes sustancias, sin embargo, el 55% de los alumnos marcaron correctamente la tercera pregunta, mostrando que conocían al menos el nombre de una compuesto que pudiera utilizarse en el tratamiento químico de neutralización o regulación del pH de cualquier sustancia, esto como consecuencia que a lo largo del año habían estado inmersos dentro del contexto del tratamiento y recolección de aguas lluvias y residuales como propuesta de proyecto escolar. Extrañamente, el 87% desconocía los componentes precisos para la construcción de un filtro casero, indispensable en el tratamiento de aguas lluvias y residuales, preguntado en el numeral cuatro.

Dentro de la clasificación del tema de aguas lluvias y residuales, la pregunta cinco y ocho cuestionaba sobre las respectivas definiciones, distinguiendo que en promedio el 13% de los alumnos tuvieron la respuesta acertada, ya que confundían la naturaleza de las aguas residuales e incluso lo asimilaban como semejanza de las aguas lluvias. Contrariamente, hubo

existido al clasificar los residuos orgánicos e inorgánicos obteniendo un porcentaje de 95 y 90 respectivamente en la pregunta seis y siete.

Finalmente, la pregunta nueve estaba relacionada con los distintos compuestos químicos que son potencialmente nocivos para la calidad y potabilidad del agua de cualquier fuente, identificando que el 28% de los alumnos clasificaron las respuestas de manera correcta.

El panorama general da cuenta de la carencia de la conceptualización de las tres categorías presentadas en la prueba diagnóstica, datos que pueden estar alterados como consecuencia de la alta probabilidad de éxito en las preguntas de opción múltiple aún si poseer el conocimiento, y de la disposición y disciplina de los alumnos en el momento de resolver el cuestionario. También, es notorio el requerimiento del desarrollo de la secuencia didáctica propuesta para concretar y aplicar los contenidos en la ejecución del prototipo de una máquina para la recolección y tratamiento de aguas lluvias y residuales como lo indica el proyecto escolar.

Actividades de desarrollo

Este segundo momento de la secuencia didáctica presenta una introducción de los conceptos y técnicas a trabajar utilizando herramientas TIC y diferentes recursos y actividades en el proceso.

Posterior a esto, se propone una práctica de laboratorio para la determinación del pH en agua lluvias o residuales en contraste con sustancias de la vida cotidiana (como Coca-Cola, café, leche, huevo, entre otras) a través del método casero de col morada como indicador, pH-metro digital, titulación ácido-base y tiras reactivas. Luego se trabajaron otras propiedades de aguas lluvias y residuales como el nivel de turbidez utilizando discos de Secchi; colorimetría a través de la escala de Hazen y prueba demostrativa de bacterias coliformes con el experimento de leche azul de metileno. Finalmente, se realizó una tercera práctica en la que el estudiante consultaba, presentaba y desarrollaba una propuesta de procedimiento físico o químico con el cual logrará la neutralización del pH de agua lluvia o residual, para posteriormente realizar un última determinación de pH finalizado el tratamiento.

Los alumnos presentaron un informe de laboratorio tipo artículo, sustentaron y argumentaron los datos obtenidos de forma que nació la necesidad de construir una rubrica de evaluación que permitiera cualificar los resultados obtenidos por lo estudiantes culminados los experimentos.

De esa forma, se reconoce un avance significativo en la percepción acertada del concepto de pH y de las diferentes sustancias del contexto cotidiano que ejemplifican la escala del nivel de acidez; por esta

misma línea, y de acuerdo con sus sustentaciones, los estudiantes lograron identificar la diferencia entre las aguas lluvias y residuales ya que no poseen el mismo pH, nivel de turbidez, color y presencia de bacterias, además de que los componentes que las contaminan son de procedencia diferente. La experiencia logró para los alumnos una aproximación de las sustancias químicas o procesos físicos que corrigen el pH de una muestra y las que solamente son eficaces al momento de desinfectar el agua contaminada, e intrínsecamente lograron un desarrollo superior en el manejo de instrumentos de laboratorio adquiriendo destreza en la realización de buenas prácticas experimentales teniendo precaución en la toma de muestras, la desinfección de los materiales, el estricto uso de elementos de bioseguridad, entre otros.

Actividad de cierre

Para corroborar cuantitativamente los resultados sustentados en las actividades de desarrollo por parte de los estudiantes se diseñó una prueba evaluativa de 14 preguntas abiertas dónde se cuestionaba sobre los distintos conceptos aplicados en la práctica y los procedimientos de laboratorio que se llevaron a cabo cuando la intención era neutralizar o desinfectar las muestras de agua lluvia o residuales. Los resultados obtenidos de la misma muestra de 81 estudiantes se representan en la figura 3.

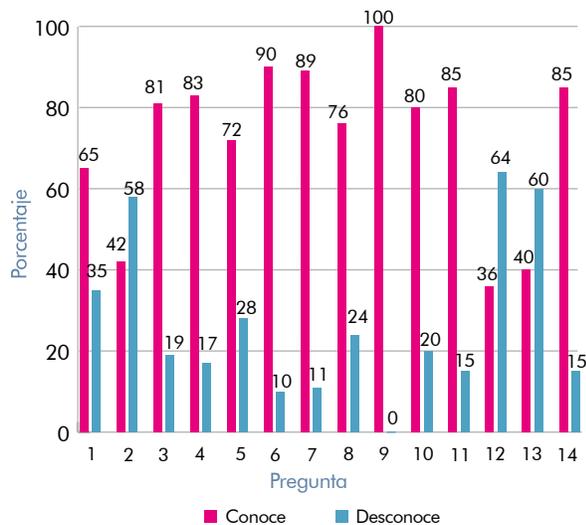


Figura 3. Resultado prueba evaluativa

Fuente: elaboración propia.

Con relación a la definición de aguas residuales en la primera pregunta, es evidente el progreso en la conceptualización de este comparado en la prueba diagnóstica con un 65% de respuestas correctas. Consecuentemente, la segunda pregunta basada en la diferencia entre aguas lluvias y residuales tuvo un acierto por parte del 42% de los estudiantes; aunque es un avance notorio, hubo confusiones respecto al tipo de contaminantes que podrían poseer ambos tipos de sustancias.

La tercera pregunta da cuenta de un 81% de estudiantes quienes pueden dar una aproximación lógica a la definición del pH, del mismo modo el 83% identifica y explica la numeración y el orden de la escala de pH de forma cuantitativa y cuantitativa como lo solicitaba la pregunta cuatro.

Las preguntas cinco y seis corresponden al valor aproximado de pH que podría tener una muestra de agua residual y agua lluvia teniendo en cuenta su naturaleza, las cuales tuvieron un resultado de 72% y 90% de respuestas correctas; esto, debido a que muchos estudiantes analizaron muestras de agua lluvia y solo algunas muestras de agua residual.

En lo que concierne la séptima pregunta, un 89% de los estudiantes tuvo la capacidad de decidir a través de qué método puede distinguir el pH aproximado o exacto de cualquier sustancia química, dando evidencia de que la experiencia en la primera práctica de laboratorio fue exitosa en la construcción de conocimiento.

La octava pregunta solicitó escribir cuatro características que estudiaría para determinar si una muestra de agua es potable o no, a lo que el 76% de los estudiantes respondió de forma correcta gracias a lo aprendido en el segundo experimento.

La novena pregunta tuvo el mayor de los éxitos ya que todos los estudiantes identificaban al menos un procedimiento químico o físico que les permitía modificar algunas propiedades de agua contaminada en pro de mejorar sus condiciones. Sin embargo, solo el 80% logró describir el paso a paso de este procedimiento teniendo en cuenta tiempo y cantidad de material estimado.

La pregunta número 11 quería conocer si los estudiantes comprendían que no todo

tipo de sustancia químicas neutralizaban el pH de una muestra de agua lluvia o residual, de los cuales el 85% acertó en su respuesta.

La pregunta 12 fue la de menor éxito ya que solo el 36% de los alumnos adquirió la conciencia de que, aunque algún tratamiento físico o químico podía neutralizar el pH de la muestra, no significaba que el agua fuera apta para el consumo humano.

La pregunta 13 correspondía a la clasificación de los contaminantes presentes en las muestras de agua (procedentes de la contaminación atmosférica y en los productos de aseo), teniendo un acierto del 40% ya que, a lo largo de las prácticas no se enfatizó en la naturaleza de acidez o basicidad de ese tipo de aguas.

Finalmente, la pregunta 14 demostró que el 85% de los estudiantes adquirió una conciencia ambiental del uso racional del agua, proponiendo llevar ese experimento a los hogares de manera que pudieran reutilizar agua contaminada.

Conclusiones

La aplicación de una secuencia didáctica para la enseñanza del concepto de pH aplicado en el tratamiento de neutralización y desinfección de aguas lluvias y residuales fue recibido con actitudes positivas por parte de los estudiantes ya que, desde el enfoque del aprendizaje basado en la experiencia, los alumnos tuvieron una

aproximación real a dicho concepto, caracterizándolo y cuantificando a través del uso de sustancias de la vida cotidiana haciendo énfasis en el cambio de pH de muestras de agua. En este sentido, los alumnos aprendiendo no solo a definir en pH sino también a utilizar distintos métodos desde el nivel casero hasta el nivel industrial para determinarlo.

Intrínsecamente, no solo hubo una buena apropiación del concepto y los métodos de determinación, sino que detrás de esto se evidenció mejoría en la manipulación de herramientas y sustancias en el laboratorio, asimismo el desarrollo de la capacidad de consulta, toma de decisiones y construcción de propuestas disciplinares aplicadas a su contexto real.

Todo esto en conjunto se vio reflejado en la mejoría de las competencias de argumentación y comunicación de los resultados de sus proyectos escolares donde notaban la química como parte esencial de cualquier procedimiento que involucrará la recolección y el tratamiento de agua.

Referencias

Afonso. (2016). *Valoración ácido - base*. Obtenido de Práctica ácido - base: https://www.edu.xunta.gal/centros/ies-afonsoxcambre/aulavirtual/pluginfile.php/4567/mod_resource/content/0/practica_acido-base.pdf

- Díaz, A. (2013). *Guía para la elaboración de una secuencia didáctica*. http://www.setse.org.mx/ReformaEducativa/Rumbo%20a%20la%20Primera%20Evaluaci%C3%B3n/Factores%20de%20Evaluaci%C3%B3n/Pr%C3%A1ctica%20Profesional/Gu%C3%ada-secuencias-didacticas_Angel%20D%C3%adaz.pdf
- Equipo de Expertos en Educación. (2015). *Definición y beneficios del aprendizaje experiencial*. <https://www.universidadviu.com/co/actualidad/nuestros-expertos/definicion-y-beneficios-del-aprendizaje-experiencial>
- Heredia-Avalos, S. (2006). Experiencias sorprendentes de química con indicadores de pH caseros. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 3(1), 89 - 103.
- Laboratorio Icontec. (2021). *La importancia y característica de las aguas residuales* <https://www.innotec-laboratorios.es/la-importancia-y-caracteristicas-de-las-aguas-residuales/#:~:text=Tienen%20caracter%C3%adisticas%20similares%20a%20las,materia%20org%C3%A1nica%20poseen%20concentraciones%20elevadas>.
- MEN. (2016). *Secuencias Didácticas en Ciencias Naturales para Educación Básica Primaria*. https://www.mineducacion.gov.co/1759/articles-329722_archivo_pdf_ciencias_primaria.pdf
- Monje, C. (2011). *Libro didáctico de metodología de la investigación en ciencias sociales elaborado durante el año sabático concedido por la Universidad Surcolombiana al docente*. <https://www.uv.mx/rmipe/files/2017/02/Guia-didactica-metodologia-de-la-investigacion.pdf>
- Ocampo, J. (2018). *Enseñanza-aprendizaje del concepto de acidez y pH en grado décimo, bajo la metodología de la ingeniería Didáctica* [tesis de Maestría en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales]. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Ortega, A. y Sánchez, N. (2021). Tratamientos avanzados para la potabilización de aguas residuales. *Ciencia e Neogranadina Ingeniería Neogranadina*, 31(2), 121 - 134.
- Vásquez, E. y Rojas, T. (Mayo de 2016). *pH: teorías y 232 problemas*. <http://www.cua.uam.mx/pdfs/conoce/libroselec/17ph-teoriayproblemas.pdf>

